

Elektronische Schaltungen SS 2021

1. Tutoriumsblatt

Grundlagen & Passive Komponenten

Infos zur Abgabe

Abgabefrist: **25.04.2021** per E-Mail an zugewiesene*n Tutor*in

Abzugebende Aufgaben: **Aufgabe 1** (Handschriftlich, eingescannt als .pdf)

Aufgabe 3 (Separate .pdf mit Screenshots + kurzer Beschreibung)

– Teil I: Rechenaufgaben –

Aufgabe 1 (Spannungsteiler)

Gegeben ist die Schaltung nach Abbildung 1 mit einer Gleichspannungsquelle von $U_0 = 10\text{ V}$ und den Widerständen $R_1 = 150\ \Omega$ und $R_2 = 350\ \Omega$.

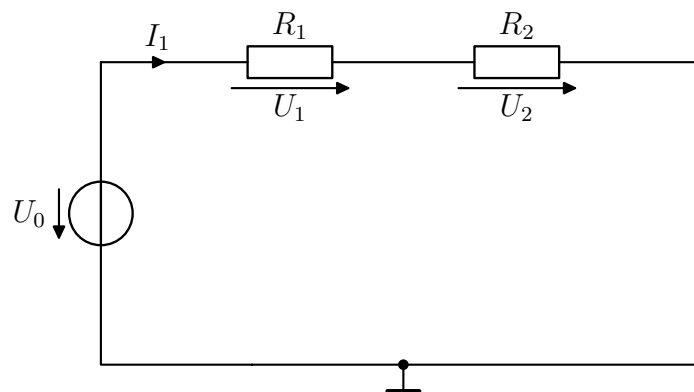


Abbildung 1: Spannungsteiler mit Gleichspannungsquelle.

- Berechnen Sie die Spannungen U_1 und U_2 sowie den Gesamtstrom I_1 .
- Die Schaltung wird mit einem dritten Widerstand $R_3 = 500\ \Omega$ nach Abbildung 2 erweitert. Berechnen Sie U_3 und den neuen Gesamtstrom I_1 .

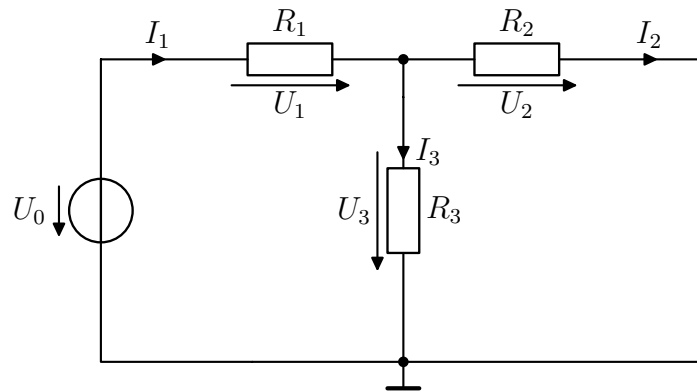


Abbildung 2: Spannungsteiler mit zusätzlichem Widerstand R_3 .

c) Wie groß sind die Ströme I_2 und I_3 ?

d) Die Gleichspannungsquelle wird nun durch eine Wechselspannungsquelle ersetzt, für welche $u_0(t) = 10 \text{ V} + 2 \text{ V} \sin(\omega t)$ gilt, siehe Abbildung 3. Außerdem wird der Widerstand R_2 durch einen Kondensator mit $C = 10 \text{ nF}$ ausgetauscht. Berechnen Sie den Betrag der Spannung $|u_2|$ für die Frequenzen $f_1 = 10 \text{ kHz}$, $f_2 = 10 \text{ MHz}$, $f_3 = 10 \text{ GHz}$.

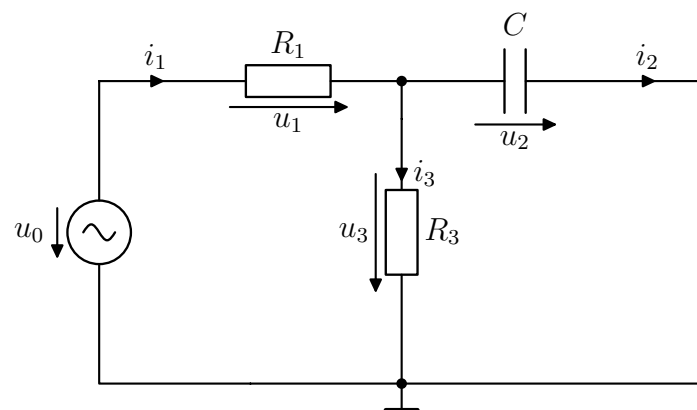


Abbildung 3: Spannungsteiler mit Wechselspannungsquelle.

Aufgabe 2 (Stromteiler)

Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 4. Für die ideale Gleichstromquelle gilt $I_0 = 5 \text{ mA}$. Die Widerstandswerte betragen $R_1 = 750 \Omega$ und $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$.

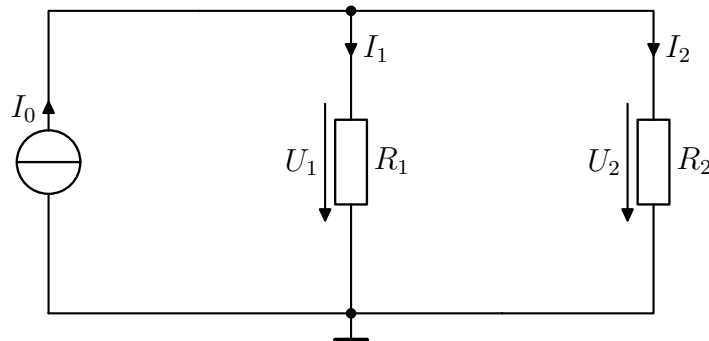


Abbildung 4: Stromteiler mit Gleichstromquelle.

- a) Berechnen Sie die Ströme I_1 und I_2 .
- b) Die Schaltung wird mit einem dritten Widerstand $R_3 = 500 \Omega$ nach Abbildung 5 erweitert. Berechnen Sie U_3 und I_3 .

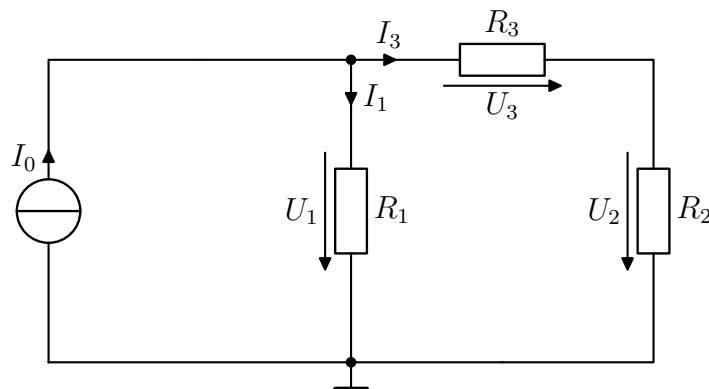


Abbildung 5: Stromteiler mit zusätzlichem Widerstand R_3 .

- c) Was ändert sich am Ergebnis aus Aufgabenteil b), wenn der Widerstand R_1 durch eine Induktivität ersetzt wird?
- d) Nachfolgend wird die Schaltung in Abbildung 6 untersucht. Der Widerstand R_1 wurde durch eine Induktivität $L = 150 \text{ nH}$ ausgetauscht und die Gleichstromquelle durch eine Wechselstromquelle mit $i_e(t) = 3 \text{ mA} \cdot \sin(\omega t + 15^\circ)$ ersetzt. Berechnen Sie die Beträge der Amplituden von

Wechselspannung $|u_1|$ und Wechselstrom $|i_1|$ für die Frequenzen $f_1 = 10 \text{ MHz}$, $f_2 = 1 \text{ GHz}$, $f_3 = 100 \text{ GHz}$.

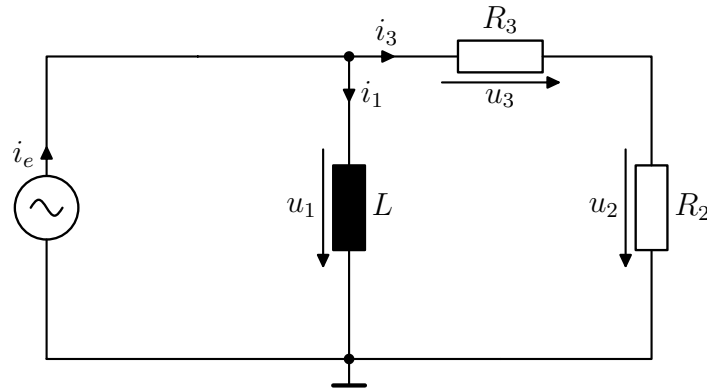


Abbildung 6: Stromteiler mit Wechselstromquelle.

– Teil II: Spice-Simulationen –

Für die nachfolgenden Aufgaben wird das Programm LTspice benötigt, welches zur Simulation von Schaltungen dient und auf der Homepage der Firma Analog Devices¹ kostenlos heruntergeladen werden kann. Als Referenz zur Auffrischung der grundlegenden Funktionen von LTspice stehen Ihnen in unserem Ilias-Kurs² eine kurze Einführung vom Institut für Biomedizinische Technik sowie das Videomaterial zur Übung 1 zur Verfügung.

Für die Abgabe genügt eine kurze Beschreibung zur Lösung der Aufgaben in Textform sowie die geforderten Screenshots aus LTspice. Achten Sie auf gute Lesbarkeit Ihrer Screenshots!

Tipps: Für bessere Lesbarkeit der Screenshots empfehlen wir, die Linienstärke der Kurven zu erhöhen - dies ist unter **Plot Settings** **Control Panel** **Waveforms** **Data trace width** einstellbar. Außerdem kann die Hintergrundfarbe auf weiß geändert werden **Tools** **Control Panel** **Waveforms** **Color Scheme[*]** **Background**.

LTspice bietet zudem die Möglichkeit Plots zu beschriften (Linien, Pfeile, Text, etc.). Sie finden diese nach Start der Simulation unter **Plot Settings** **Notes & Annotations**. Nutzen Sie diese Möglichkeit zur Dokumentation Ihrer Simulationsergebnisse!

¹<https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>

²https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_1461137&client_id=produktiv

Aufgabe 3 (Transientenanalyse)

Im Folgenden wird die Schaltung in Abbildung 7 betrachtet. Die passiven Bauelemente besitzen die Werte $R = 1 \text{ k}\Omega$ und $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$.

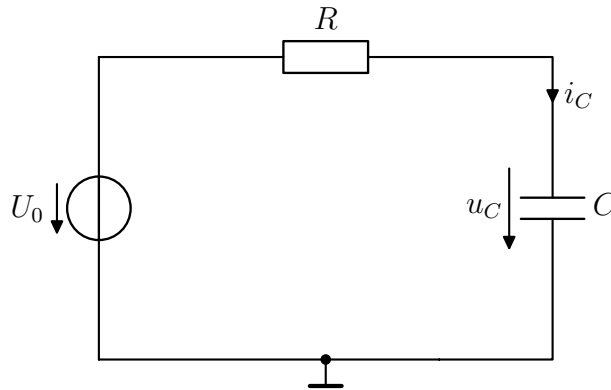


Abbildung 7: RC-Schaltung zur Analyse des Einschwingverhaltens.

- a) Die Gleichspannungsquelle ist zunächst ausgeschaltet und wird zum Zeitpunkt $t_1 = 1 \text{ ms}$ eingeschaltet, d.h. es gilt: $U_0 = \begin{cases} 0 \text{ V} & , t < t_1 \\ 10 \text{ V} & , t \geq t_1 \end{cases}$

Welche Werte sind für die Spannung u_C und den Strom i_C zum Zeitpunkt $t = t_1$ sowie im eingeschwungenen Zustand ($t \rightarrow \infty$) zu erwarten? Begründen Sie Ihre Antwort.

Zur Analyse des **Einschwingverhaltens** der Schaltung in Abbildung 7 soll nun eine Transientenanalyse in LTspice durchgeführt werden. Verwenden Sie eine Spannungsquelle des Typs PULSE, um den Einschaltvorgang zum Zeitpunkt $t = t_1$ zu simulieren. Für die steigende Flanke kann $T_{\text{rise}} = 1 \text{ ns}$ angenommen werden.

- b) Geben Sie die Werte der Spannung u_C und des Stroms i_C zu den Zeitpunkten $t_2 = 2 \text{ ms}$, $t_3 = 4 \text{ ms}$ und $t_4 = 6 \text{ ms}$ an. Für die Abgabe reichen Sie bitte zusätzlich einen Screenshot Ihres Spice-Schaltplans sowie der Zeitverläufe von U_0 , u_C und i_C ein.

Tipp: Um den Signalwert zu einem bestimmten Zeitpunkt in LTspice anzuzeigen, können Sie auf den Namen der entsprechenden Kurve klicken und anschließend den Cursor an die gewünschte Stelle schieben.

- c) Was ändert sich an den Werten von u_C und i_C zu den Zeitpunkten t_2 , t_3 , t_4 , wenn der Widerstand auf $R = 500 \text{ }\Omega$ reduziert wird? Bitte geben Sie die neuen Werte an und erklären Sie das Verhalten kurz.

Im Folgenden soll eine **Zeitbereichsanalyse für Wechsignale** durchgeführt werden. Hierfür wird die ideale Gleichspannungsquelle in Abbildung 7 durch eine Wechselspannungsquelle mit $u_0(t) = 2 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$ ersetzt, siehe Abbildung 8a. Es gilt $R = 1 \text{ k}\Omega$ und $C = 100 \text{ pF}$.

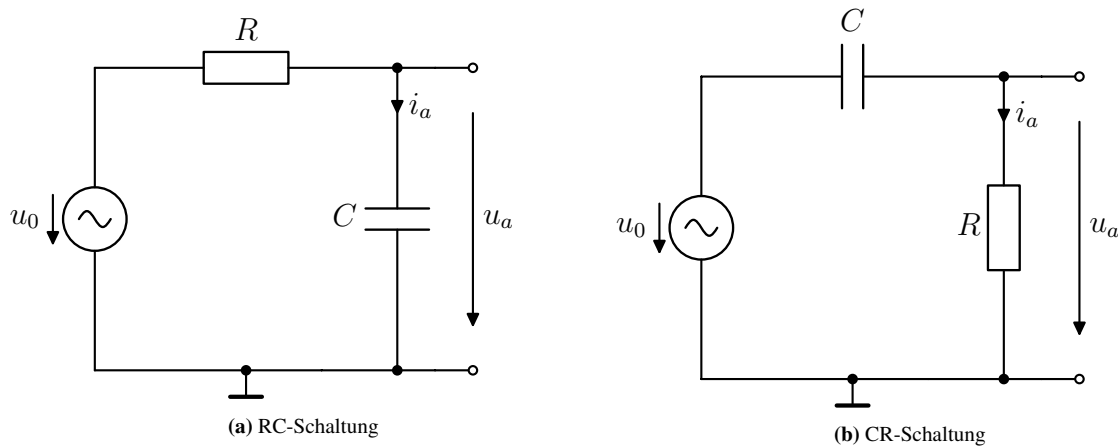


Abbildung 8: Schaltungen zur Zeitbereichsanalyse für Wechsignale.

d) Für die Schaltung in Abbildung 8a: Geben Sie die Beträge der Amplituden von Ausgangsspannung $|u_a|$ und Strom $|i_a|$ formelmäßig in Abhängigkeit von $|u_0|$ an.

e) Führen Sie eine Transientenanalyse in LTspice für jeweils 20 Perioden bei drei Frequenzen $f_1 = 10 \text{ kHz}$, $f_2 = 10 \text{ MHz}$ und $f_3 = 10 \text{ GHz}$ durch.

Welche Werte von $|u_a|$ und $|i_a|$ ergeben sich jeweils?

Was können Sie aus den Werten für $|u_a|$ bei den unterschiedlichen Frequenzen für die Funktion der Schaltung (Tiefpass, Hochpass, Bandpass, Bandsperre) ableiten?

Reichen Sie für die Abgabe bitte zusätzlich einen Screenshot Ihres Spice-Schaltplans sowie der Zeitverläufe von $u_a(t)$ ein.

Tipps: Wählen Sie den Startzeitpunkt der Simulation³ so, dass sich die Schaltung im stationären Zustand befindet (d.h. die Spannung $u_a(t)$ geht symmetrisch um Null) – dies ist nach einer Zeitdauer von ca. $5 \cdot RC$ der Fall.

Zur Eingabe des Dezimalpräfixes Mega ($\cdot 10^6$) erwartet LTspice den Ausdruck MEG. Die Eingabe des Ausdrucks M wird (unabhängig von Groß- und Kleinschreibung) als Milli ($\cdot 10^{-3}$) interpretiert.

f) Was ändert sich an den Werten aus Aufgabenteil e), wenn Widerstand und Kondensator vertauscht werden, siehe Abbildung 8b? Bitte geben Sie die neuen Werte sowie die Funktion (Tiefpass, Hochpass, Bandpass, Bandsperre) der Schaltung an.

³Der Startzeitpunkt ist durch Rechtsklick auf die Spice Directive unter „Time to start saving data“ einstellbar.

Aufgabe 4 (Frequenzverhalten)

Im Folgenden sollen verschiedene passive Schaltungen im Frequenzbereich untersucht werden.

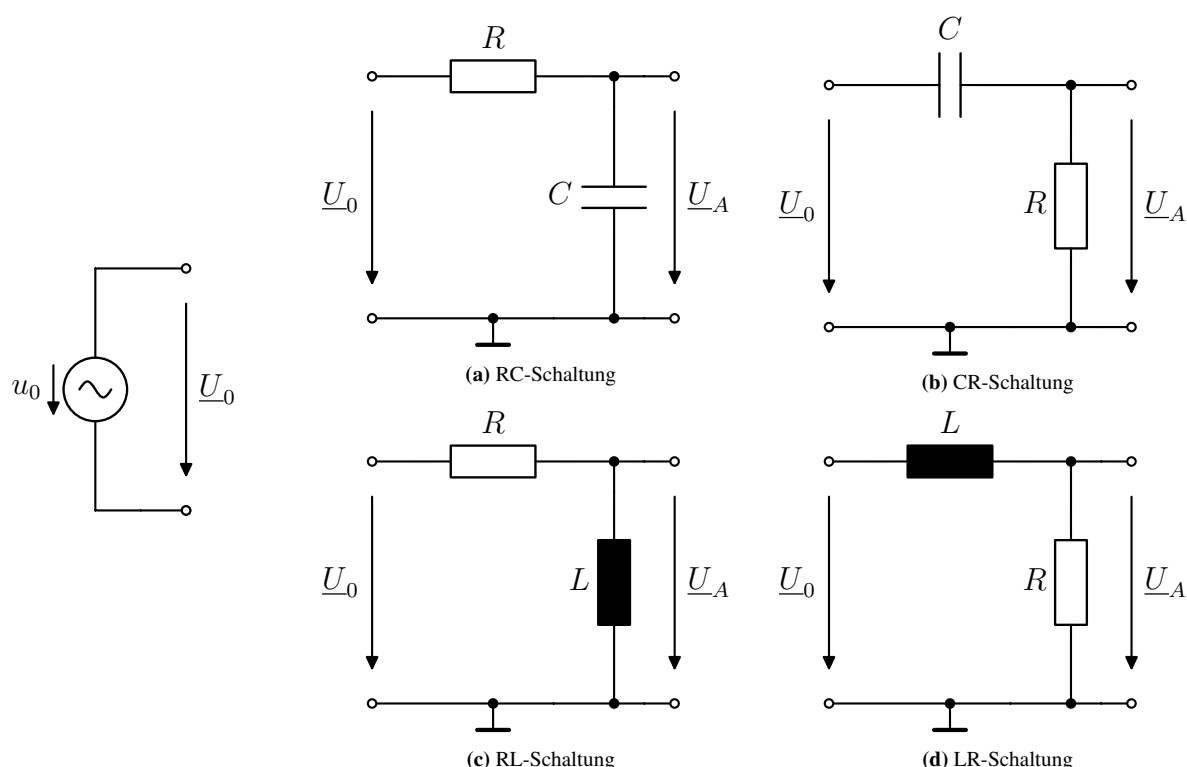


Abbildung 9: Schaltungen zur Frequenzbereichsanalyse (AC-Analyse).

a) Geben Sie jeweils die komplexe Übertragungsfunktion $\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{U}_A(\omega)}{\underline{U}_0(\omega)}$ der vier Schaltungen in Abbildung 9 an.

b) Wie lässt sich die 3 dB-Grenzfrequenz⁴ der Schaltungen berechnen? Nehmen Sie dazu folgende Bauteilwerte an: $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 40 \text{ pF}$, $L = 5 \text{ }\mu\text{H}$.

c) Führen Sie eine AC-Analyse der Schaltungen aus Abbildung 9 in LTspice durch. Plotten Sie die Übertragungsfunktion $\underline{U}_A(\omega)/\underline{U}_0(\omega)$ im Frequenzbereich 1 Hz – 10 GHz mit logarithmischem Maßstab und 10 Punkten pro Dekade. Stimmt die simulierte 3 dB-Grenzfrequenz mit ihren Berechnungen aus Aufgabenteil b) überein?

Tipp: Im Plot Window können Sie durch Rechtsklick auf den Namen der Kurve einen Ausdruck der Form $V(ua)/V(u0)$ eingeben, um das Verhältnis zweier Spannungen darzustellen.

⁴Erinnerung: Die 3 dB-Grenzfrequenz (oder Knickfrequenz) ist die Frequenz, bei der die Spannungsverstärkung der Schaltung auf den Wert $\left| \frac{\underline{U}_A(\omega)}{\underline{U}_0(\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ sinkt bzw. $20 \log \left| \frac{\underline{U}_A(\omega)}{\underline{U}_0(\omega)} \right| = 20 \log \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right| = -3,01 \text{ dB}$ gilt.

d) Welche Funktion (Tiefpass, Hochpass, Bandpass, Bandsperre) wird durch die Schaltungen in Abbildung 9 jeweils realisiert?

Zum Abschluss soll die Schaltung in Abbildung 10 untersucht werden. Die Bauteilwerte betragen $R = 50\ \Omega$, $C = 1\ \text{nF}$, $L = 250\ \text{nH}$.

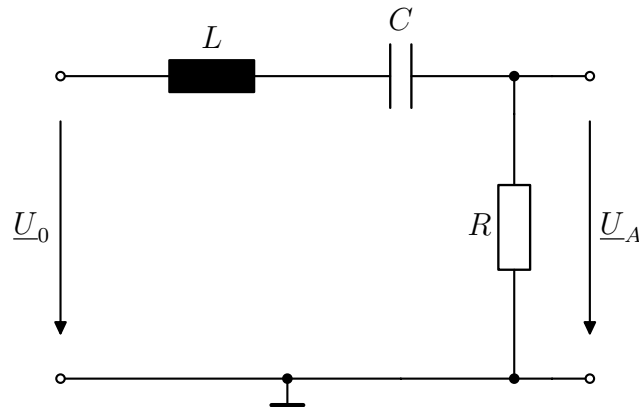


Abbildung 10: LCR-Schaltung

e) Geben Sie die Frequenz f an, für die das Verhältnis $|\underline{U}_A(\omega)/\underline{U}_0(\omega)|$ maximal wird.

f) Führen Sie eine AC-Analyse der Schaltung in LTspice im Frequenzbereich 10 kHz – 10 GHz durch. Welche Funktion (Tiefpass, Hochpass, Bandpass, Bandsperre) wird durch die Schaltung realisiert?